1873
Lane Medical Library

Ueber

das physikalische Princip der Lungenathmung.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin und Chirurgie

der hohen medicinischen Facultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

vorgelegt und mit Thesen

am 19. Juni 1873

vertheidigt von

Siegfried Wolffberg

aus Königsberg i. Pr.

Namen der Opponenten:

Nathan Zuntz, Dr. med., Privatdocent,
Andreas Hertz, Stud. med.,
August Ewald, Dr. med.

Bonn,

Druck von Carl Georgi.

1873.

Phys 50

Seinem hochverehrten Lehrer

Herrn

Geheimrath Prof. Dr. Pflüger

in Hochachtung und Dankbarkeit gewidmet

vom Verfasser.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153709_0240

In dem Folgenden beabsichtige ich, hauptsächlich auf eine Reihe von physiologischen Untersuchungen gestützt, welche ich in Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie, Bd. IV und VI, bereits veröffentlicht habe, die Natur der Gesetze, nach welchen die Athmung der Lunge erfolgt, zu besprechen. Das Princip, welches der Respiration zu Grunde liegt, wird sich als ein sehr einfaches herausstellen; aber die Erfahrung lehrt, dass wir in unserm Erklärungstriebe oft gerade durch die natürlichsten Resultate nicht zufriedengestellt werden und auf Complicationen fahnden, wo keine vorhanden sind. Es liegt nahe genug, die Diffusion als die alleinige Ursache der Ventilation des Blutes in den Lungen anzunehmen, aber man begnügte sich mit dieser einfachsten Erklärung nicht. Man erkannte dem Lungengewebe eine specifische Action zu, indem man bald den Gehalt des Parenchyms an einer sogenannten Lungensäure betonte, bald die Processe des Lungenlebens selbst als die Ursache hinstellte, welche eine Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Lungenblute befördern oder gar allein vermitteln sollte.

Um über diese Dinge Klarheit zu verschaffen, schien es mir geboten, zunächst den Bau der äusseren Athmungsvorrichtungen in den verschiedenen Thierklassen vergleichend-anatomisch zu verfolgen, — ob sich in der That vielleicht Anhaltspunkte auffinden liessen, welche die mechanische Erklärung der Respiration als unzureichend hingestellt hätten. Sodann war es nothwendig, diejenigen

Angaben der Autoren, nach welchen die Annahme einer specifischen Action der Lunge bei der Athmung als unumgänglich betrachtet werden sollte, noch einmal einer Kritik zu unterwerfen, und schliesslich die eigenen Versuche, welche diesen Gegenstand betreffen und bereits früher in vereinzelten Aufsätzen publicirt worden sind, anzureihen.

Die Athmung ist der Vorgang, durch welchen organische Körper Sauerstoff aufnehmen und einen Theil desselben in Form von Kohlensäure an Kohlenstoff gebunden wieder ausscheiden. Es athmet somit alles Lebendige, und falsch ist die vulgäre Ausdrucksweise, nach welcher die Pflanzen im Gegensatz zu den Thieren Kohlensäure einathmen und Sauerstoff ausathmen sollen. Denn die Kohlensäure ist das Nahrungsmittel der Pflanzen und dem Sauerstoff, welchen die Thiere durch die Respiration aufnehmen, nicht äquivalent. Auch die contractile Pflanzenzelle braucht Sauerstoff und bildet Kohlensäure wie die thierische. Da nun das Leben seinen Ausdruck findet in der Athmung, weil Oxydationsprocesse die einzige Kraftquelle der Organismen sind, so ist es begreiflich, dass die Intensität der Athmung proportional ist der Lebensenergie, und dass, je vielseitiger und bedeutungsvoller das Leben der Organismen wird, die Respirationsorgane sich um so mannigfaltiger und complicirter entwickeln.

Uebersehen wir die Athmungsvorrichtungen in den verschiedenen Thierklassen, so gewahren wir durchgreifende Unterschiede je nach der Beschaffenheit des äusseren Mediums, in welchem die Thiere leben. Es ist klar, dass die Wasserathmer relativ hoch entwickelte Respirationsorgane besitzen müssen, um die Menge Sauerstoff zu gewinnen, welche die Luftathmer mit einfacher gebauten Lungen der Luft entnehmen, und dies Verhältniss deutet allein darauf, dass bei der fortschreitenden Potencirung der Lebensprocesse der Thiere die höchst entwickelten Organismen auf

die Atmosphäre als Aufenthaltsort angewiesen waren, weil sie allein ausreichte, um die Fülle und Schnelligkeiten ihrer Lebensthätigkeiten zu ermöglichen.

Wir beginnen mit der Betrachtung der Elementarorganismen, welche in einer nackten Zelle bereits Das bergen, wofür in höher entwickelter Form die zusammengesetzten Organsysteme des Menschen thätig sind. Jenes wunderbar begabte Protoplasmaklümpchen besorgt ohne weitere Differencirung die Respiration. Es wird von einer Flüssigkeit getränkt, welche den Sauerstoff in sich aufgelöst enthält und beinahe frei von Kohlensäure ist, — und wird durch seine amöboiden Bewegungen befähigt, das benutzte Wasser auszupressen und an anderer Stelle neues aufzunehmen. Wir haben nicht nöthig, nach andern Ursachen für den Gasaustausch des Protoplasmas zu suchen, — die Annahme der Diffusion genügt zur Erklärung desselben.

Diese einfachste Art, das Bedürfniss des Organismus nach Sauerstoff zu decken und die durch das Leben des Körpers gelieferte Kohlensäure auszuscheiden, lässt sich noch weit hinauf in der Reihe der Thiere verfolgen, und ist noch solchen Klassen gemein, welche sich bereits durch die Differenzirung eines Geschlechtsapparates und eines Nervensystems auszeichnen. Wir werden nicht irren, wenn wir in diesen Fällen von vornherein eine zum Volum des Thieres relativ bedeutende Oberfläche zu finden erwarten, oder aber locomotorische Hülfsmittel, welche die mangelnde Intensität der Respiration durch schnelleren Wechsel stets sauerstoffreichen Wassers ersetzen. So bieten einige Formen der Pteropoden ihre ganze Körperoberfläche zum Zwecke der Athmung dem Contacte des Wassers dar. Dieselbe bildet in manchen Gattungen vielfache Ausstülpungen, welche meist symmetrisch zu beiden Seiten des dann cylindrisch ausgezogenen Körpers angeordnet sind, und zuweilen (Doris) in regelmässigem Kreise die Leibesöffnung umkränzen.

Es liegt auf der Hand, dass wir hier den ersten Anfängen eines Kiemenapparates begegnen; hierzu ist nur noch nöthig, dass ein Blutgefässsystem sich entwickele, welches in jene Oberflächenvergrösserungen der äusseren Haut seine feineren Verästelungen sendet. Dieser genetische Zusammenhang der Respirationsvorrichtungen gibt uns zugleich den besten Anhaltspunkt zur Beurtheilung des Princips, welches bei den entwickelteren Formen in Betreff der Athmungsmechanik zur Geltung kommt. Als eine Vorstufe ist gewiss das Wassergefässsystem der Echinodermen zu betrachten, welches den Blutgefässen im Binnenraume des Körpers das zur Athmung geeignete Wasser darbietet. Auch hier ist ein ergiebiger Wechsel der eingeschlossenen Flüssigkeit theils durch die Contractionen der Wassercanäle, theils durch schwingende Cilien der Körperoberfläche oder der inneren Höhlen des Körpers ermöglicht. Es scheint nicht unpassend, dieses Wassergefässsystem, insofern es respiratorische Functionen besitzt, Wasserlungen zu nennen. Noch bezeichnender wird dieser Name bei den Holothurien und einigen Ordnungen der Mollusken. Wir finden hier in der That grössere Säcke, welche mit dem Darmcanale communiciren, von diesem aus mit Wasser gespeist und mit einem Cilienüberzuge bekleidet werden. Die Wandungen der Säcke enthalten zahlreiche Muskelfasern, durch deren rhythmische Entspannung und Contraction eine zum Wechsel des Wassers genügende Saug- und Druckkraft ausgeübt wird. In ihnen verbreiten sich feinere Gefässverzweigungen, durch welche der Gasaustausch auf dem Wege der Diffusion erfolgt.

Es ist hier nicht unsere Aufgabe, alle die wunderbaren Modificationen der Athmungsapparate aufzuführen, für deren richtige Würdigung, wie wir beiläufig erwähnen, die genetische Betrachtungsweise von Bedeutung ist. Wie unter den Protisten die Amöbe, so sind auch die höheren Thiere zum Zwecke der Sauerstoff-Aufnahme und Kohlensäure-Abschei-

dung auf die einfache Diffusion angewiesen; wie dort der ganze Leib dem umspülenden Wasser sich darbietet, so sind die Kiemen und Lungen dem Mantelanhange bei Doris analog, indem auch sie als einfache Erweiterungen der Körperoberfläche anzusehen sind. Und zwar der innern Körperoberfläche, welche bei den höher entwickelten Thieren mehr als die äussere zu Ausstülpungen geeignet ist; denn die äussere Oberfläche soll rund und scharf umgränzt sein, um ein sicheres Entgegentreten des Individuums äussern Angriffen gegenüber möglich zu machen. Wir haben daher im Einklange mit der Embrylogie die Kiemen sowohl wie die Lungen als zum Darmtractus gehörig zu betrachten. Ja, der Letztere kann zuweilen, wie das die Athmung des Schlammpeizgers lehrt, die Stelle eines Respirationsorganes vertreten. Auf den feineren Bau der Kiemen und der Lungen brauchen wir wohl nicht weiter einzugehen. Doch verdient der grosse Fortschritt Erwähnung, der zur Sicherung so bedeutender Kraftquellen, wie sie der höher entwickelte Organismus producirt, in dem Auftreten eines chemischen Sauerstoffträgers, des Hämoglobins, gegeben ist.

Noch verlangt unsere Aufgabe, dass wir des Epithels der Lungenalveolen gedenken. Denn es kann nicht zweifelhaft sein, dass ein vollsaftiges Protoplasma, hingegossen zwischen Capillare und Luftraum, der Diffusion hinderlich werden müsste. Die Entwickelung der Lunge zeigt uns aber, dass die Epithelzellen der Alveolen im fötalen Leben freilich den specifischen Drüsenzellen analog protoplasmareich gebildet werden, dass aber dieser Zellenleib, weil unnütz, bei der weiteren Entwickelung und vollständigeren Function der Lunge total verschwindet und ein Schüppchen zurückbleibt, welches erst mit Hülfe der neueren vervollkommneten Instrumente aufzufinden gelungen ist. Diese Reduction der Parenchymzellen geschieht allerdings nur allmählich und ist erst im Jünglingsalter ganz vollendet: —

sollte nicht das Kind seine runden Formen zum grossen Theil der noch unvollständigen Athmung verdanken, in der Weise, wie der Emphysematiker zum Embonpoint neigt?

Wir haben bisher durch eine vergleichend-anatomische Betrachtung der Respirationsorgane in den verschiedenen Thierklassen feststellen können, dass die Diffusion sehr wohl genügt, um den Gasaustausch zwischen den Organismen einerseits und dem Medium, in welchem sie athmen, andererseits zu erklären. Es war daher von Verdeil durchaus verfehlt, wenn er glaubte, dass ein specieller Bestandtheil des Lungengewebes, ein Körper, den er durch chemische Operationen aus der Lunge extrahirte, die Aufgabe hätte, die Kohlensäure aus dem Blute auszutreiben. Diese von Verdeil sogenannte Lungensäure sollte die Eigenschaften einer Säure haben und N- und S-haltig sein. Cloetta wies denn auch sehr bald nach, dass jene Lungensäure nichts Anderes als Taurin war, welches ein Zersetzungsproduct N-haltiger organischer Substanzen ist.

Wir gehen daher über die Hypothese der Lungensäure gleich hinweg und gedenken des Aufsatzes: „Ueber die Athmung in der Lunge" von J. J. Müller[1]), welcher in dem physiologischen Institute C. Ludwig's in Leipzig arbeitete. J. J. Müller benutzte jene gefährliche, an Fehlerquellen reiche Methode, die Functionen eines Organes dadurch zu zergliedern, dass man defibrinirtes Blut durch seine Gefässe leitet und den Erfolg beobachtet. Ich habe mich über die Müller'sche Arbeit schon in einem früheren Aufsatze ausgesprochen. (S. Pflügers's Archiv Bd. IV. „Ueber die Spannung der Blutgase in den Lungencapillaren"), doch halte ich es für angemessen, in dieser Arbeit, welche die Resultate jenes früheren Aufsatzes mit weiteren Ergebnissen combiniren soll, und für welche eine Kritik der

1) Ludwig, Arbeiten. 1871.

Versuche des Herrn Dr. J. J. Müller von hoher Bedeutung ist, noch einmal auf dieselbe einzugehen.

Bekanntlich leitete der erwähnte Forscher defibrinirtes Blut einerseits von einem Gasballon aus durch ein Röhrensystem, welches mit dem einen Schenkel eines Manometers in Verbindung stand, andrerseits durch die kurz zuvor ausgeschnittene Lunge eines Hundes, deren Trachea mit dem andern Schenkel des Manometers verbunden war. Das Letztere gab stets eine Differenz der Quecksilberstände zu Gunsten der Lunge an. Hieraus zieht J. J. Müller den Schluss, die Lunge scheide aus dem Blute Kohlensäure auf specifische Weise aus.

Zu dem Arrangement des J. J. Müller'schen Versuches gehörten noch Controlversuche, welche nicht ausgeführt wurden. Es musste gezeigt werden, dass das Blut, wenn es durch die Röhren des Apparates strich, wirklich im Stande war, einem senkrecht auf diesen Röhren stehenden Manometer seine totale Kohlensäurespannung mitzutheilen. Man weiss, wie langsam Diffusionsprocesse geschehen. Erst in neuerer Zeit sahen wir, dass J. W. Müller[2]) durch langes, heftiges Schütteln des Blutes mit Sauerstoff-haltigen Gegenständen keine Diffusionsausgleichung zu Stande bringen konnte. Wie soll also ein Gasraum, der mit fast verschwindend kleiner Oberfläche Blut berührt, ohne Schütteln die Ausgleichung durch Diffusion der Kohlensäure in kurzer Zeit ermöglichen? Vielleicht hat so gut wie gar keine Kohlensäure-Abgabe an den Stickstoff-Raum des Differentialmanometers stattgefunden. Müller hat sich wenigstens durch den Versuch hiervon nicht überzeugt. Wie viel günstiger gestaltet es sich auf der andern Seite für das Blut, wenn es die Lunge passirt, um durch Diffusion Kohlensäure abzugeben. In ihr unterliegt dasselbe in feinster Vertheilung einer Summe von Diffusionsprocessen.

2) J. W. Müller in Ludwig, Arbeiten. 1870.

J. J. Müller übersieht ferner ganz, dass, wenn das Gas in der Lunge allmählich stärker drückte, dies nicht nothwendig dadurch bedingt sein muss, dass es sich durch Kohlensäure-Aufnahme vermehrt, sondern auch, dass sich der Raum in der Lunge verkleinert hat. Er betrachtet stillschweigend Elasticität und Totalvolum der Lungensubstanz als constant, als ob die zahllosen Bronchialmuskeln durch Tetanus und vorschreitende Starre sich nicht unzweifelhaft verkürzten, als ob durch Transsudation keine Schwellung der zahllosen Lungensepten, als ob kein Austritt von Liquor in die Alveolen nothwendig eintreten müsste, — als ob beim dauernden, auf den sterbenden Lungencapillaren lastenden Blutdruck nicht eine Erweiterung dieser zahllosen Canäle sich ausbilden könnte, wobei ich noch davon absehe, dass die Lunge sich sehr wahrscheinlich in toto während des Absterbens allmählich contrahirt. Beweist doch jener Autor selbst das noch nicht ganz entschwundene Leben der Lunge nach jedem seiner Versuche durch ihre Contraction in Eiswasser, arbeitet aber nicht bei Blut-, sondern der niedrigeren Zimmertemperatur, wo also die Contraction, die in Eiswasser schnell und auffällig geschieht, sich wohl langsamer und weniger merkbar, aber ebenfalls vollziehen dürfte! Beweist doch der Autor selbst ferner die während der Versuche sich ausbildende Veränderung der Lunge dadurch, dass er angibt, es seien immer höhere Quecksilberdrucke nöthig, um das Blut mit gleicher Geschwindigkeit durch die Lunge zu treiben! — Auch den Stickstoff-Raum, welcher am Manometer dem Lungen-Raum entgegenwirkt, trifft der Fehler, dass die blutfassenden Röhrensysteme kein constantes Volum haben, weil die variable Lunge eingeschaltet ist. Deshalb wird entweder Blut in das Manometerrohr vordringen und durch eine todte Schicht die Diffusion abschliessen oder im entgegengesetzten Fall werden Stickstoffbläschen vom vorbeiströmenden Blute mitgerissen, so dass

die Spannung sich zu Gunsten einer scheinbar stärkeren Tension der Lungengase vermindert. — Nicht vergessen darf man, dass es sich hier bei der manometrischen Differenz nur um wenige Mm. handelt.

Noch ein zweiter Umstand kommt hinzu, welcher ebenfalls zu Gunsten des Blutes, das durch die Lunge strömt, ausschlägt. Es ist der, dass jener Forscher gezwungen war, eine herausgeschnittene Lunge zu benutzen. Die Erhaltung der Lebenseigenschaften jenes Organes wird sicher nicht durch die Angabe bewiesen, dass es sich nach jedem Versuche in kaltem Wasser contrahirte. Denn gesetzt auch, dass dies eine vitale Erscheinung sei, so folgt daraus gar nicht, dass nicht andere vitale Eigenschaften bereits verloren, viele gestört sind. Ferner berichtet J. J. Müller, die Lunge habe nach mehrstündigem Liegen im Zimmer alkalisch reagirt. Ich habe mich von der sauren Reaction überzeugt, sobald für die Entleerung des Organes von seinem Blute gesorgt war. Es fehlt also jede Garantie, was Lebensprocessen oder dem Absterben der Lunge zuzuschreiben ist.

Ich habe diese Bedenken noch weiter experimentell zu bekräftigen gesucht. Ich nahm die Lungen eines verbluteten Hundes mit dem Herzen aus der Brusthöhle und begann, während das Herz noch pulsirte, das zurückgebliebene Blut durch eine 1%ige Kochsalzlösung aus den Lungen zu entleeren. Es wurde ein Rohr in die Pulmonalarterie eingeführt, durch welches die Salzlösung in die Lungengefässe gelangte, um aus dem geöffneten linken Vorhofe wieder auszufliessen. Um die Durchleitung zu beschleunigen, geschah sie unter einem Druck von ca. 90 Mm. Hg. Als die Kochsalzlösung ungefärbt die Lunge passirte und diese selbst schneeweiss geworden, wurde sie (nach Entfernung des Herzens) von der Pulmonalis aus mit einer titrirten Sodalösung von $^1/_4$% prall gefüllt und die zu- und abführenden

Gefässe unterbunden. Darauf wurden die Lufträume wiederholt mit atmosphärischer Luft ausgespült und zur Controle, ob alle Kohlensäure entfernt, die aufgeblasene Lunge comprimirt und das Gas aufgefangen. Die chemische Analyse ergab später, dass dasselbe frei von Kohlensäure war. Nachdem hierauf die Lunge von Neuem mit Luft gefüllt und die Trachea verschlossen war, wurde jene in eine Brütemaschine gethan, welche zur Bluttemperatur erwärmt worden war. In dieser blieb sie während $1^1/_4$ Stunden. Hierauf wurde sie comprimirt und das Gas aufgefangen. Die Analyse zeigte, dass dasselbe 1,3% CO_2 enthielt. Dieser Uebertritt von Kohlensäure in die Bronchialräume lässt sich nur durch die Annahme erklären, dass die Lunge durch einen Zersetzungsprocess Säure producirt hatte.

Ein weiterer, nicht unwesentlicher Einwand gegen die Verwerthung der Versuche J. J. Müller's im physiologischen Interesse liegt darin, dass er kein lebendiges, sondern defibrinirtes Blut verwandt hat. Wenn die Lunge auf defibrinirtes Blut auch CO_2-austreibend wirkte, brauchte sie nicht nothwendig die gleiche Wirkung auf lebendes Blut zu haben. Ein Reagens wirkt eben auf verschiedene Stoffe verschieden.

Aus Alledem folgt, dass für eine specifische Thätigkeit der Lunge bei der Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute keine Anhaltspuncte vorliegen, oder doch, dass die Versuche J. J. Müller's, welche darauf hinzielen, die specifische Action der Lunge nicht beweisen. Inzwischen habe ich versucht, experimentell darzuthun, dass der Athmungsvorgang in der Lunge im Wesentlichen ein Diffusionsprocess ist. War dies in der That der Fall, so musste ich beweisen, dass die Spannungen, welche der Kohlensäure sowohl als dem Sauerstoff in dem Blute der Art. pulmonalis und in den Alveolen der Lunge zukommen, wenn man einen Ausgleich zwischen ihnen

ermöglicht, einander gleich sind. Dabei legte ich den Hauptnachdruck auf die Bestimmung der Kohlensäure-Tension. Um die Annahme der specifischen Action der Lunge, ihrer secretorischen Thätigkeit, zu widerlegen, genügte der Nachweis, dass die Spannung der Kohlensäure in der Luft der Lungenalveolen nach vollendeter Ausgleichung zwischen den Gasen der Lungencapillaren und der Lungenalveolen nicht höher ist als dieselbe Grösse in den Capillaren.

Ich begann daher mit der Bestimmung der Spannung der Blutgase in den Lungenalveolen und combinirte dieselbe später mit gleichzeitiger Untersuchung derselben Werthe in dem Blute des rechten Herzens. Allerdings war die Kohlensäurespannung im Lungenblute bereits 1855 von Becher untersucht worden (Becher, die Kohlensäurespannung im Blute. Zürich 1855), und seine Zahlen scheinen von den Physiologen ziemlich allgemein angenommen worden zu sein. Indess bestreitet schon Donders in seinem Lehrbuch (Deutsche Ausgabe, Theil I, pg. 362) ihre Bedeutung als Ausdruck für die Tension der CO_2 des Blutes. Bekanntlich fand Becher nach einer 0, 20, 40, 60, 80, 100 Secunden lang dauernden Athmungshemmung in der Exspirationsluft 3,636 u. s. f. bis 7,5% CO_2. Donders behauptet nun, gewiss mit Recht, dass während einer kurzen Dauer des Stillstandes der Respiration die Ausgleichung des CO_2gehaltes zwischen der Lungenluft und dem Lungenblute noch nicht vollendet sei, bei längerer Dauer aber das Blut wegen der Kohlensäurestauung nicht normal bleibe. Denn selbst unter der Voraussetzung, dass der Ausgleich in Becher's Versuchen wirklich stattgefunden habe, kommt seiner Zahl doch nur so lange die beanspruchte Bedeutung zu, als der CO_2gehalt des Blutes wirklich constant bleibt. Der mittlere CO_2gehalt des normalen venösen Blutes bleibt aber nur bei regelmässiger Ventilation constant. Er wird

sofort abnorm, wenn die Athmung länger als 5—10 Secunden ausgesetzt wird. Die Becher'schen Zahlen geben daher unter der Voraussetzung des vollständigen Ausgleichs nur einen Ausdruck für die Spannung der Kohlensäure des Erstickungsblutes, und es fallen alle jene Schlüsse, welche man aus dem vermeintlich hohen Kohlensäuregehalt der Lungenluft gezogen hat.

Meissner findet indessen in den Zahlen, welche die von Fick (Henle und Meissner's Bericht 1857. pag. 249) aufgestellte Formel für die bei einem Athemzuge ausgeschiedene CO_2menge ergibt, ein auffallendes Zeugniss für die Berechtigung der Becher'schen Versuche. Bekanntlich gilt aber auch jene Fick'sche Formel nur so lange, als das Blut einen constanten CO_2gehalt zeigt. Auch sie hat ganz wie der Werth des Becher'schen Versuches ihre Berechtigung zur Bestimmung der Kohlensäure-Tension im Blute verloren, wenn die Zahl der Athemzüge in bestimmter Zeit abnorm klein wird.

Hiernach war es nöthig, mittels einer neuen Methode die Bestimmung der Kohlensäurespannung im normalen Lungenblute in Angriff zu nehmen. Schon in der Art des Becher'schen Verfahrens war eine Fehlerquelle vermieden, welche die Resultate vieler späterer Versuche problematisch macht. Seitdem Zuntz (Zur Physiologie des Blutes, Bonn 1868) nachgewiesen, dass das Blut, sobald es seine Gefässe verlassen, seine Alkalescenz ändert, durfte es nicht versucht werden, zur Bestimmung der Spannung der Blutgase das todte Blut mit bestimmter Luft bis zur vollständigen Ausgleichung der Diffusionsströme zu schütteln. Jetzt galt es, das lebendige Blut in seinen lebendigen Gefässen zu untersuchen.

Ich habe, um diese Aufgabe zu lösen, nach einer Methode gearbeitet, welche mir von Prof. Pflüger angegeben wurde. Das Princip dieser Methode besteht darin, bei dem

lebendigen Thiere einen Theil der Lungen temporär durch den zuführenden Bronchus zu schliessen, während die anderen Partien der Lunge weiter athmen. Der Typus der Athmungsmechanik des Thieres und sein ganzes übriges Verhalten verbürgen den normalen Ablauf der Respirationsprocesse. Die abgesperrte Lungenpartie erhält das Blut wesentlich aus der Lungenarterie und behält Zeit, die Spannung der Gase in den Alveolen und dem venösen Blut zur vollkommenen Ausgleichung kommen zu lassen. Der temporäre beliebig anzubringende oder aufzuhebende Verschluss eines Bronchus sollte durch eine plötzliche, künstliche, leicht wieder zu eliminirende und ganz unschädliche Verstopfung bewirkt und die Alveolenluft nach variabeler oder hinreichender Stagnation durch Katheterisation erhalten werden.

Ich gehe zur Beschreibung des Apparates über, den ich als Lungenkatheter bezeichnet habe.

Um unter sonst normalen Verhältnissen eine Lunge absperren zu können, benutzte ich jene Kautschukröhren, wie sie Tarnier zur Einleitung der künstlichen Frühgeburt angegeben hat. Sie sind bekanntlich 30—45 Cm. lang. Der untere Theil des Schlauches, in einer Länge von 2—2½ Cm., hat eine dünnere Wandung, so dass dieser für sich mit Leichtigkeit aufgeblasen werden kann, während der dickere Theil des Rohres dem Drucke wenig nachgiebt. Eine solche Kautschukröhre musste, nachdem die Tracheotomie gemacht war, einem Thiere durch die Trachea in den einen Bronchus eingeführt werden. Das blinde Ende des Tarnier wurde vorher abgeschnitten und ein um wenige Centimeter längerer, dünnster, elastischer Katheter so in das Tarnier'sche Gummirohr eingeführt, dass er um ein Geringes zum untern Ende hervorsah. Es kam nun darauf an, dieses letztere luftdicht um den Katheter festzubinden. Ein kleines, passendes Glasröhrchen

wurde über das untere Ende des elastischen Katheters gezogen und durch Siegellack befestigt: über dem Glase konnte so ein fester und sicherer Verschluss durch einfaches Zuschnüren der Kautschukröhre mit feinem Bindfaden erreicht werden. Zuverlässiger und leichter ist es, das Aufblasen des untern Tarnierröhrenendes nicht mit der eigenen Lunge, sondern durch einen kleinen Blasebalg zu besorgen. Zu dem Ende musste der Tarnier'sche Schlauch in ein T-förmiges Rohr sich fortsetzen, welches von dem durch den Schlauch und das T-förmige Glasrohr umschlossenen Katheter um etwas überragt wird. Der seitwärts abgehende Theil des T-Rohres ist durch ein Kautschukröhrchen mit der Oeffnung eines kleinen Blasebalges verbunden — so zwar, dass zwischen beide ein doppeltdurchbohrter Hahn eingeschaltet ist, der einmal vom Blasebalg zum T-Rohr, das andremal von jenem nach aussen führt. Der Luftraum zwischen dem Tarnier'schen Rohre und seiner Fortsetzung, dem T-Rohre und dem Katheter, wird an der Grenze durch Siegellack geschlossen: die Mündung des Katheters ragt hervor. Durch einen Druck mit der Hand auf den Blasebalg bläst sich der untere Theil des Tarnier kugelig zur Verstopfung des Bronchus auf. Man dreht dann den Hahn so, dass der Blasebalg sich wieder füllt, das Ende des Schlauches aber aufgeblasen bleibt. Bevor der Apparat zu einem Versuch am Thier benutzt wurde, habe ich stets, um ihn zu prüfen, den ausdehnbaren Theil in ein starkes Glasrohr, dessen Lumen etwa dem eines Bronchus glich, eingeführt und aufgeblasen und constatirt, dass er mehrere Stunden geschlossen.

Der elastische Katheter beginnt den Leitungsweg der Lungenluft, die mit dem venösen Lungenblute sich ausgeglichen hatte. In meiner oben citirten Abhandlung habe ich die Vorrichtung genau beschrieben, deren ich mich zum Auffangen des Lungengases bediente. Man kann hier-

zu jeden Apparat benutzen, welcher nach dem Principe des Pflüger'schen Dreihahnenrohres (Archiv II, pg. 163) construirt ist. Denn einmal ist der mit atmosphärischer Luft gefüllte Raum zwischen Lungenkatheter und Auffange-Apparat zu entleeren, sodann das Lungengas aufzufangen und drittens in ein Absorptionsrohr der Gaswanne überzuleiten.

Bezüglich der Technik und der Cautelen, welche bei diesen Experimenten zu beobachten sind, verweise ich auf meine früheren Angaben. Hier die Resultate:

1. Die Ausgleichung der Gasspannungen, welche durch den Verschluss mittels des Lungenkatheters erreicht wird, ist für die Kohlensäure nach 4—5 Minuten, bereits nach zwei Min. für den Sauerstoff erfolgt.

2. Die Temperatur der Luft beeinflusst die Tensionen in der Art, dass die Spannung der Kohlensäure mit steigender Temperatur fällt, während die Spannung des Sauerstoffs wächst.

3. Die Tension der CO_2 in den Lungenalveolen des Hundes wird bei hohen Lufttemperaturen im Mittel durch 3,2% ausgedrückt, d. h. sie ist bei Atmosphärendruck (760 Mm.) = 24,32 Mm. Hg-Druck. Dieselbe Grösse ist bei niederen Temperaturen = 3,6%, d. h. = 27,4 Mm. Hg-Druck.

4. Für die Tension des Sauerstoffs in den Lungenalveolen gilt im Mittel bei höheren Lufttemperaturen (20° C.) der Ausdruck 3,6%, d. h. sie ist bei Atmosphärendruck gleich 27,41 Mm. Quecksiber-Druck; die Tension des Sauerstoffs ist bei niederen Temperaturen = 3,8%, d. h. = 28,9 Mm. Hg-Druck.

Hiernach bestimmte ich direct die Spannung der Blutgase des venösen Herzblutes. Zwar hatte Holmgren schon früher dieselben Werthe und nach ihm J. W. Müller (Ueber die Spannung des Sauerstoffs der Blutscheiben; Ludwig Arbeiten 1870) die Tension des Sauerstoffs zu fixiren unter-

nommen. Aber es kam darauf an, nicht wie jene Forscher defibrinirtes Blut, sondern das Blut vor der Gerinnung zu benutzen. Ich bestimmte die Kohlensäuretension im venösen Herzblute anfangs gesondert, späterhin in Combination mit der gleichzeitigen Anwendung des Lungenkatheters. Das Princip sowohl wie die Construction des zu diesen Versuchen nöthigen Apparates verdanke ich der freundlichen Theilnahme meines hochverehrten Lehrers, Herrn Professor Pflüger. Das Princip ist folgendes: Es sollte venöses Blut aus der Vena iugularis in einem Schüttelapparat fliessen, um hier $^1/_2$—1 M. mit einem Gasgemisch geschüttelt zu werden, welche bereits eine genau gekannte Menge von CO_2 enthielt. Dann musste die CO_2 zu- oder abnehmen in dem Schüttelgase, je nachdem die Spannung derselben im Blute entsprechend grösser oder kleiner war. Auf diese Weise brauchte man nicht die Ausgleichung der Diffusion abzuwarten und konnte deshalb die Spannung in dem Blute vor der Gerinnung experimentell untersuchen, was sehr wesentlich ist, weil mit der Gerinnung die Alkalescenz abnimmt. Durch Variation des CO_2gehaltes des Gasgemenges musste man also auf's Genaueste bestimmen können, wie gross die Spannung der CO_2 des normalen venösen Blutes ist.

Im Anfange benutzte ich ein Gemisch von Luft und Kohlensäure als Schüttelgas. Es führte dies den Sauerstoff als einen Factor in die Rechnung ein, welcher vielleicht (der älteren Annahme von Holmgren und Preyer gemäss) auf die Kohlensäure des Lungenblutes eine austreibende Wirkung ausüben konnte. Ein solches Verhältniss musste das Resultat trüben.

Um daher den Einfluss des Sauerstoffs nicht sowohl auszuschliessen, als vielmehr einer mathematischen Controle zu unterwerfen, habe ich venöses Blut vor der Gerinnung zunächst mit Stickstoff geschüttelt, und zwar sowohl mit reinem Stickstoff, als auch gleichzeitig eine zweite Portion

desselben Aderlasses mit CO_2haltigem Stikstoffgase. Ich habe sodann zum directen Vergleiche, weil die physiologischen Schwankungen in der Tension der Blutkohlensäure nicht unbedeutend sind, gleichzeitig zwei einem Aderlass entstammende Portionen — die eine mit reinem Stickstoff, die andere mit reinem Sauerstoff geschüttelt — selbstverständlich stets vor der Gerinnung. Aber auch über die Gerinnung hinaus sollte das Blut mit den betreffenden Gasen geschüttelt werden, um durch die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes dieser letzten Portionen der resultirenden Gase den Einfluss des Absterbens des Blutes kennen zu lernen.

Hiermit waren die Anforderungen an den Versuchsapparat um ein Bedeutendes gestiegen. Es handelte sich nun darum, gleichzeitig gleiche Quantitäten gleichen Blutes auf ergiebige Weise mit gleichen Mengen von Gas bei Körpertemperatur zu schütteln, dann die resultirenden Gase ohne Aufenthalt vom Blute zu trennen und in die Absorptionsrohre überzuleiten.

Das Princip des Apparates blieb begreiflicher Weise dasselbe. Es wurden je zwei Füllkugeln neben einander verwendet, welche in vier Ausschnitte eines entsprechend hohen Brettes eingebunden waren. Dieses Brett machte durch die leichte Handbarkeit das Schütteln des Blutes mit dem Schüttelgase äusserst bequem und erfolgreich. Ich bezeichne die oberen, zur Aufnahme der Schüttelgase bestimmten Kugeln mit A und A', die unteren, zur Aufnahme des Blutes bestimmten mit B und B'. Jene gehen nach unten in je ein kurzes, etwa 15 Mm. im Durchmesser haltendes Rohr, die unteren Ballons in je ein gleiches nach oben hin über. Für das von dem letzteren in horizontaler Ebene abgehende Seitenrohr (8 Mm. im Durchmesser haltend) enthält das Brett beiderseits eine besondere Bohrung

(*c* und *c'*). Diese Seitenrohre dienen zur Einleitung des Blutes. Die beiden Ballons (*A* und *B*, und *A'* und *B'*) werden rechts und links durch einen starken Schlauch von dichtem, schwarzem Gummi, welcher $1\frac{1}{2}$ Cm. im Durchmesser fasst, verbunden. Zur Einleitung des Gases in *A* und *A'* sind die obern Kugeln capillar ausgezogen und durch Geissler'sche Capillarhähne, für welche besondere Bohrungen im Brette existiren, verschliessbar. Die Seitenrohre *c* und *c'* werden durch starke, durch den Atmosphärendruck nicht compressible Gummischläuche mit den beiden Schenkeln eines gabeligen Glasrohres (*f*) verbunden, dessen einfacher Schenkel mit einer Reihe ziemlich weiter, elastischer Katheter in Verbindung steht, welche alle luftdicht aneinander gefügt sind. An diese Letztere schliesst sich ein doppelt durchbohrter Hahn. Derselbe ist auf der einen Seite mit dem in die Vena iugularis eingeführten Katheter verbunden und bietet dem Blute zwei Wege dar, indem er es einmal, wenn es das Herz verlässt, aus dem Gebiete des Apparates, dann aber auch, um 90° gedreht, in die Blutleitungswege des Apparates (nach *f* und *c* und *c'*) überfliessen lässt.

Alle Gas- und Bluträume müssen vor dem Versuche mit Quecksilber gefüllt werden. Ebenso sind die Schläuche, die nach der Einleitung der Schüttelgase an die capillaren Auszüge der obern Kugeln angefügt werden und nach Beendigung des Versuchs die resultirenden Gase zur pneumatischen Wanne leiten, mit Quecksilber gefüllt. Zur Regulirung des Quecksilberstandes in den Gasballons und zur schliesslichen Uebertreibung der resultirenden Gase in Absorptionsrohre dient folgende Vorrichtung. *B* und *B'* gehen nach unten in zwei 1 Cm. weite, 3 Cm. lange Ansatzrohre über, welche durch zwei, etwa $\frac{1}{2}$ Meter lange, sehr starke und entsprechend weite Gummischläuche mit dem Gabelrohr *i* in Verbindung stehen. Das Letztere führt durch seinen einfachen Schenkel, welcher ebenfalls ein Caliber

von 1 Cm. besitzt, zu einem dreifach getheilten Gabelrohre (k) — und zwar zu dessen mittlerem Schenkel (l). Diese Verbindung wird durch ein luftdichtes Gummirohr von etwa $^1/_2$ Met. Länge vermittelt. Der einfache Schenkel des dreigabeligen Glasrohres führt durch einen kurzen Gummischlauch zu der etwa 500 Cem. fassenden Füllkugel C.

Die Bedeutung der bisher geschilderten Gummiverbindungen ist von vornherein klar. Sie dienen eben dazu, das Niveau des Quecksilbers in C veränderlich zu machen, damit in A und B durch geeignete Manipulationen Vacua erzeugt und so das Einströmen sowohl der Gase als des Blutes in den Apparat ermöglicht werden könne. Es erübrigt indess hinzuzufügen, dass von A und A' (und zwar beiderseits von der Stelle, wo die weiten cylindrischen Verlängerungen angefügt sind) je ein Capillarrohr in horizontaler Ebene nach aussen führt, welches durch einen Capillarhahn verschliessbar, und noch auf dem Brette aufliegend, nach unten gebogen ist. Diese engen Glasrohre sind durch je einen schmalen und doch starken Gummischlauch von etwa 1 Met. Länge mit den beiden äussern Schenkeln des oben erwähnten dreigabeligen Rohres (o und o'), welche einen Durchmesser von 5 Mm. haben, verbunden.

Noch einige Worte seien mir über die zur Sicherung der Experimente so äussert wichtigen Klemmen gestattet. Es kam gerade bei diesen Versuchen darauf an, sichere und leicht handbare Verschlussmittel zu besitzen, welche gleichzeitig viel zu leisten im Stande waren. Ich erinnere daran, dass, nachdem der Apparat von Luftblasen gereinigt und die Schüttelgase in A und A' geborgen waren, von dem Einströmen des Blutes in die Ballons B und B' bis zur Beendigung des ersten Schüttelactes nicht längere Zeit als eine Minute vergehen durfte. Unterdess mussten die Klemmen zwischen f und c und zwischen f und c' geöffnet, dann, so-

bald der Apparat genug Blut enthielt, in demselben Moment sowohl die eben erwähnten Klemmen, als auch die zwischen *k* und *C (p)* geschlossen und die zwischen *A* und *B* und zwischen *A'* und *B'* befindlichen geöffnet werden. Erst jetzt beginnt das Schütteln, welches sich durch ein einfaches Auf- und Niederwenden des Brettes vorzüglich ausführen lässt. Unterdess ist der Gummischlauch zwischen den gabelig getheilten Glasrohren *k* und *i* abgeklemmt worden. Nach dem Schütteln befinden sich Blut und Gas in den grösseren untern Kugeln, die obern enthalten nur Quecksilber. Durch vorsichtige Handhabung der Klemme gelingt es leicht, dieses herabfallen, das Gas frei von Schaum aufsteigen zu lassen. Um schliesslich die resultirenden Gase, welche sich in *A* und *A'* angesammelt haben, überzutreiben, wird Ballon *C* gehoben und werden die Klemme *p* und successive die nach aussen zur pneumatischen Wanne führenden Hähne geöffnet.

Auf die Construction der Klemmen wurde besondere Sorgfalt verwendet. Zum Verschlusse der Gummischläuche zwischen *A* und *B* und zwischen *A'* und *B'* diente ebenso wie zwischen *f* und *c* und zwischen *f* und *c'* nur je eine einzige Klemme. Die letztere wurde durch lose geknüpfte Ligaturen, bevor die Theile des Apparates vollends ineinandergefügt waren, mit den Gummischläuchen zwischen *f* und *c* und *c'* verbunden; die erstere der Doppelklemmen konnte mit Hülfe von Ligaturen, welche durch Bohrungen des Brettes geführt wurden, an dieses selbst befestigt werden. Die Klemmen werden vielleicht durch den Namen „Portemonnaieklemmen" am besten charakterisirt. Sie bestehen nämlich aus zwei eisernen Bügeln, welche an beiden Endpunkten durch Charniere mit einander verbunden sind. Die luftdichte Absperrung der zwischen beiden eingelegten Gummischläuche wird durch einen in einer Ebene verschiebbaren Schlüssel ermöglicht; derselbe ist in die innere

Seite des einen Bügels eingefügt, indem er durch eine entsprechende Oeffnung des andern hervorragt. So bewirkt er bald, dass die Bügel sich von einander entfernen, bald presst er, indem durch einen einfachen Handgriff das breitere, hervorragende Ende des Schlüssels zur Seite verschoben wird, die Bügel gegen einander und ermöglicht eine luftdichte Absperrung der zwischen ihnen befindlichen Gummischläuche. Die Portemonnaieklemme wird geschlossen nach Einfüllung der Schüttelgase in A und A', nachdem diese unter Atmosphärendruck gestellt waren. Sie bleibt geschlossen während der Einsaugung des Blutes in B und B', in welche, da sie einem System communicirender Röhren entsprechen, die Einflussgeschwindigkeit dieselbe ist. Diese Klemmen werden sofort durch einen Druck auf die Feder geöffnet, indem die elastische Kraft der dicken Gummiwand ihre Bügel von selbst auseinander treibt. Gleichzeitig mit der Oeffnung der Klemme zwischen $A\ A'$ und $B\ B'$ nach Einführung des Blutes findet Verschluss der Klemme $c\ c'$ statt. Der Apparat steht ganz in einer sehr grossen hohen Bütte mit Wasser von Körpertemperatur und wird nun abwechselnd gedreht, so dass bald $B\ B'$ oben und $A\ A'$ unten, bald das Umgekehrte der Fall ist. Während des Schüttelns ist p geschlossen, damit der Druck des Gases bei der Bewegung der Kugeln A und A', B und B' und dem Stillstande von C unverändert bleibe. So communiciren leicht Gas und Blut durch weite Schläuche und können sofort wieder voneinander absolut getrennt werden, wie auf der vorigen Seite angegeben worden ist.

Durch diese Versuche stellte sich denn heraus,

1. dass der Sauerstoff allerdings einigen Einfluss auf die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Lungenblute auszuüben vermag. Dieser Einfluss ist übrigens nur gering: er wird im Durchschnitt durch das Verhältniss von 3,5 : 4,1 ausgedrückt.

2. Die Spannung der Kohlensäure des venösen Herzblutes ist gleich 3,2—4%; d. h. sie ist gleich 24,32—30,4 Mm. Hg-Druck, im Mittel also gleich 27,35 Mm.[1])

Uebrigens benutzte ich zu weiteren Versuchen jenen Pflüger'schen Apparat, welchen Herr Strassburg in seiner Dissertation (Ueber die Topographie der Gasspannungen im thierischen Organismus; s. Archiv für die gesammte Physiologie, VI, Heft 1) beschrieben und Aerotonometer genannt hat. Mit Hülfe dieser Vorrichtung constatirte ich noch einmal durch coordinirte Bestimmungen der Gasspangen im venösen Herzblute und in den Lungenalveolen die Uebereinstimmung dieser Werthe, und zwar erhielt ich für beide die Zahl 3,5%, d. h. einen Quecksilberdruck von 26,6 Mm., ein Resultat, welches mit dem früher gewonnenen bis auf wenig Zehntel übereinstimmt.

In neuester Zeit führte Moriz Nussbaum mit Hülfe des Aerotonometers eine weitere Reihe von Untersuchungen aus, welche denselben Gegenstand betrafen. (S. Pflüger's Archiv, Bd. VII, p. 296.) Die Zahl seiner Versuche ist so bedeutend, dass ihr Ergebniss als eine physikalisch feststehende Grösse betrachtet werden muss. Er fand die uns hier interessirenden Werthe identisch und zwar gleich 3,8%. Auch dieses Resultat dürfen wir unzweifelhaft wesentlich als eine Bestätigung unserer früheren Ergebnisse ansehen.

1) Ich verhehle mir übrigens nicht, dass die Spannung der Kohlensäure des venösen Herzblutes unter manchen physiologischen Umständen höhere Werthe erreichen mag. Ich will aber darauf aufmerksam machen, dass ich stets tracheotomirte Hunde benutzte, und dass die Tracheotomie die Ventilation des Blutes befördert, die Tension der Kohlensäure also erniedrigt; ferner, dass ich niemals an verdauenden Thieren experimentirte, sondern stets ca. 12 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme der Hunde. Wie ich mich überzeugt, ist gerade hierauf ein hoher Werth zu legen, weil die Verdauung die Tension der Kohlensäure erheblich vermehrt.

Stellen wir nun diese Letzteren in ihren Hauptsätzen noch einmal zusammen, so haben wir

1) für die Tension der Kohlensäure in den Lungenalveolen einen Werth gefunden, welcher einem Druck von 27,4 Mm. Hg entspricht;

2) für die Tension der Kohlensäure in dem venösen Herzblute einen Werth, welcher gleich 24,32—30,4 Mm. Quecksilberdruck ist, d. h. im Mittel = 27,35 Mm.

Hieraus folgt, dass die Diffusion ausreicht, um den Gasaustausch zwischen dem Lungenblute und der Atmosphäre zu ermöglichen: die Athmung der Lunge ist ein Vorgang der Diffusion.

Vita.

Verfasser, Siegfried Wolffberg, israelitischer Confession, wurde am 10. Juni 1853 zu Bonn am Rhein geboren. Meine Eltern sind der Religionslehrer Dr. Eduard Wolffberg und Johanna, geb. Herschel. Den ersten Schulunterricht genoss ich in Stettin. Nachdem mein Vater im Jahre 1862 nach Königsberg in Pr. versetzt worden war, besuchte ich das dortige Altstädtische Gymnasium bis October 1869. Mit dem Zeugniss der Reife entlassen, widmete ich mich in Königsberg dem Studium der Medicin. Doch schon im October desselben Jahres ging ich nach Bonn, dem Wohnort meiner Grosseltern, um hier weiter zu studiren. Im März des Jahres 1871 bestand ich das Tentamen physicum. In Bonn habe ich mein Quadriennium absolvirt.

Meine Lehrer waren während dieser Zeit in Königsberg: Burdach, Moser, Sohncke, Wittich, Zaddach; in Bonn: Binz, Busch, Clausius, Doutrelepont, Greeff, Hanstein, Kekulé, Obernier, Pflüger, Rindfleisch, Rühle, Sämisch, Schultze, von la Valette, Veit, Weber, Zuntz. Allen diesen Herren fühle ich mich zum grössten Danke verpflichtet, vor Allen Herrn Geheimrath Pflüger, unter dessen Leitung ich während eines Jahres physiologischen Studien oblag, und Herrn Professor Rühle, an dessen Klinik ich während des Jahres vom Herbst 1872 bis October 1873 als Unterarzt zu fungiren die Ehre habe.

Thesen.

1. Die Annahme von antiperistaltischen Bewegungen ist nicht durch pathologische, wohl aber durch physiologische Thatsachen erwiesen.
2. Die Lebens- und die Oxydationsvorgänge im Körper stehen in naher Beziehung zu einander, sind aber in den Fällen durchaus nicht zu identificiren, in welchen es sich um Kraftproduction handelt.
3. Die Carcinome sind epitheliale Neubildungen.
4. Die Verbrennung der Todten ist der Beerdigung vorzuziehen.